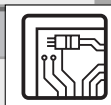
多層プリント配線板の開発トレンド

種類と用途，データで読み解く市場推移など

青木正光

ここでは，ますます多くの機器に搭載されるであろう多層プリント配線板の層数や市場規模の傾向を紹介する．同時に多層プリント配線板の種類を整理する．（編集部）

プリント配線板に使用される材料も変化しつつ，かつ，プリント配線板の種類や構造も変わってきています．ここでは，プリント配線板について理解を深めるために，電子回路産業の市場動向と多層プリント配線板の変遷を紹介します．

1 プリント配線板の市場推移

プリント配線板産業はエレクトロニクス産業の発展とともに1991年までは順調な成長を遂げました．1972年以来の市場規模（金額ベース）の推移は**図1**のようになります．1985年に踊り場を迎えたものの，1991年までは順調に成長し，1兆円を越える市場となりました．しかし，バブル崩壊の影響を受けて減産傾向となり，その後，徐々に成長し

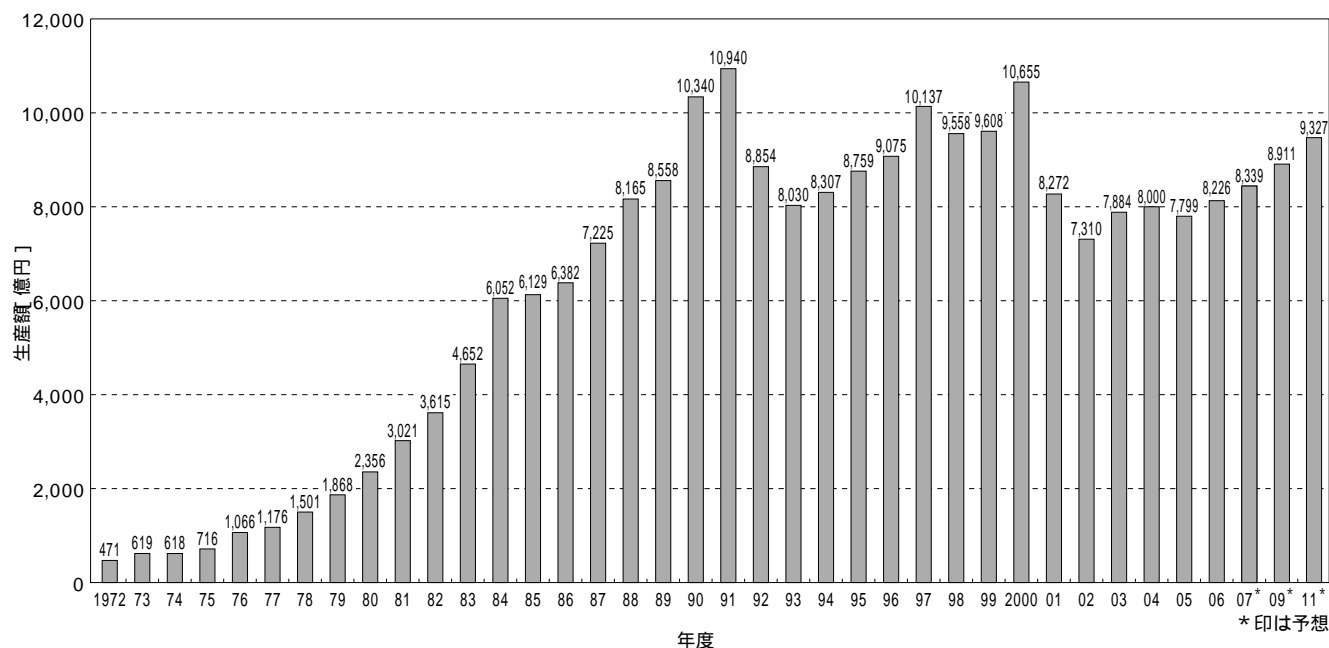
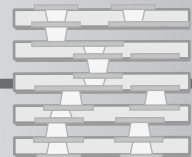



図1　プリント配線板の生産額推移（金額ベース）
2001年のIT不況で再び減少し，機器およびプリント配線板の海外生産も加わり，日本市場は伸び悩む．

KeyWord　ガラス・ポリイミド，ガラス・マレイミド・スチレン，マスラミネーション方式，ビルドアップ，SLC，B^2it，ALIVH，DV Multi，FVSS，M-VIA，CLLAVIS，PPBU，VIL，MELBUS-L，LaB，ELBit，ALIVIL

たものの2001年のIT不況で再び減少しています．さらに，機器およびプリント配線板の海外生産も加わり，日本市場は伸び悩んでいます．

プリント配線板は大きく分けて，片面プリント配線板，両面プリント配線板，多層プリント配線板，フレキシブル・プリント配線板，特殊プリント配線板のように分類されます．この分野別の推移は**図2**のようになり，年代とともに分野の変化を読み取ることができるかと思います．

片面基板や両面基板が中心であった時代からすると隔世の感があり，今や日本のプリント配線板の中で伸びているのは**図3**と**図4**に示すように多層プリント配線板とフレキシブル・プリント配線板の2分野（2006年は両方で75%を占める）であることが理解できると思います．

電子機器の生産拠点が変わったこと，つまり，産業需要の変化により，日本で生産する品種に変化をきたし，当然ながら，日本で生産するプリント配線板の種類も変わってきました．

2 多層プリント配線板の種類と用途

多層プリント配線板は，交換機やメインフレームなどの極めて限定された市場で使われていました．しかし，機器の高密度化に伴って多層プリント配線板が民生機器にも使用される機運が高まり，日本では和英辞書機能を備えた電

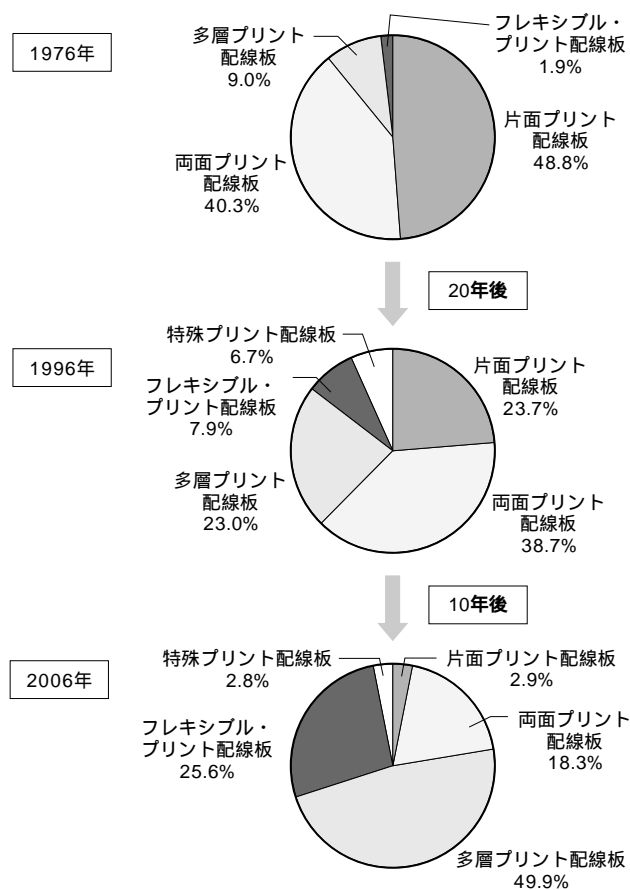



図2　プリント配線板の分野別推移（金額ベース）
今や日本のプリント配線板の中で伸びているのは多層プリント配線板とフレキシブル・プリント配線板の2分野（両方で75%を占める）であることが理解できる．

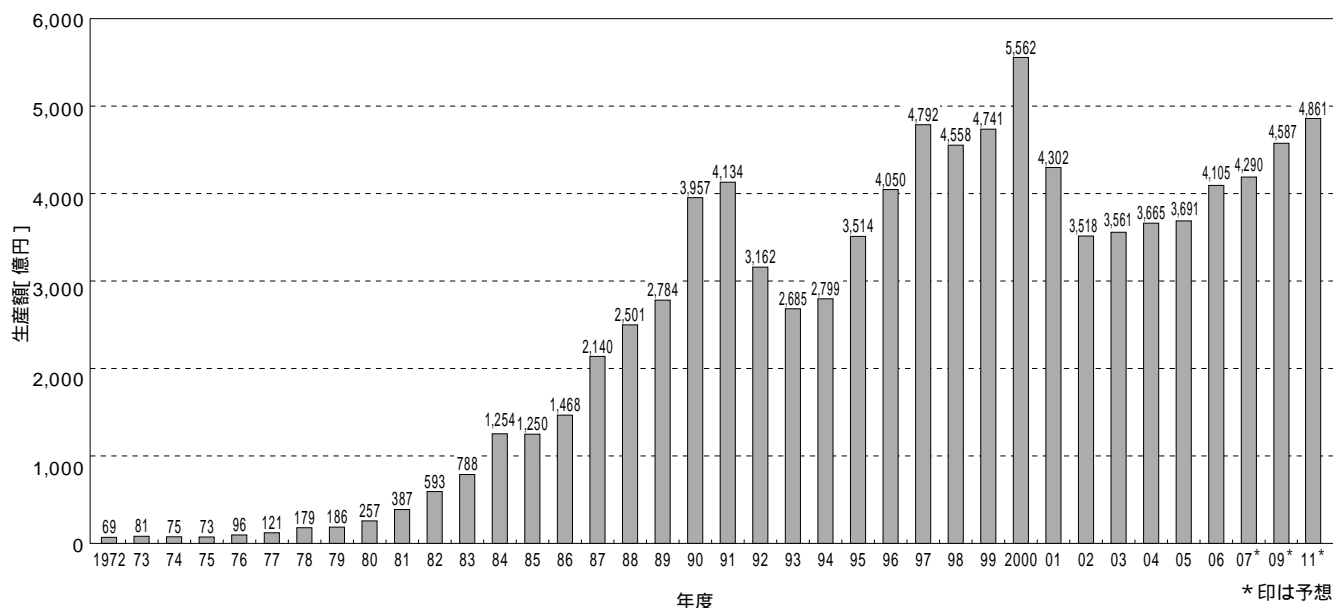



図3　多層プリント配線板の市場推移（金額ベース）

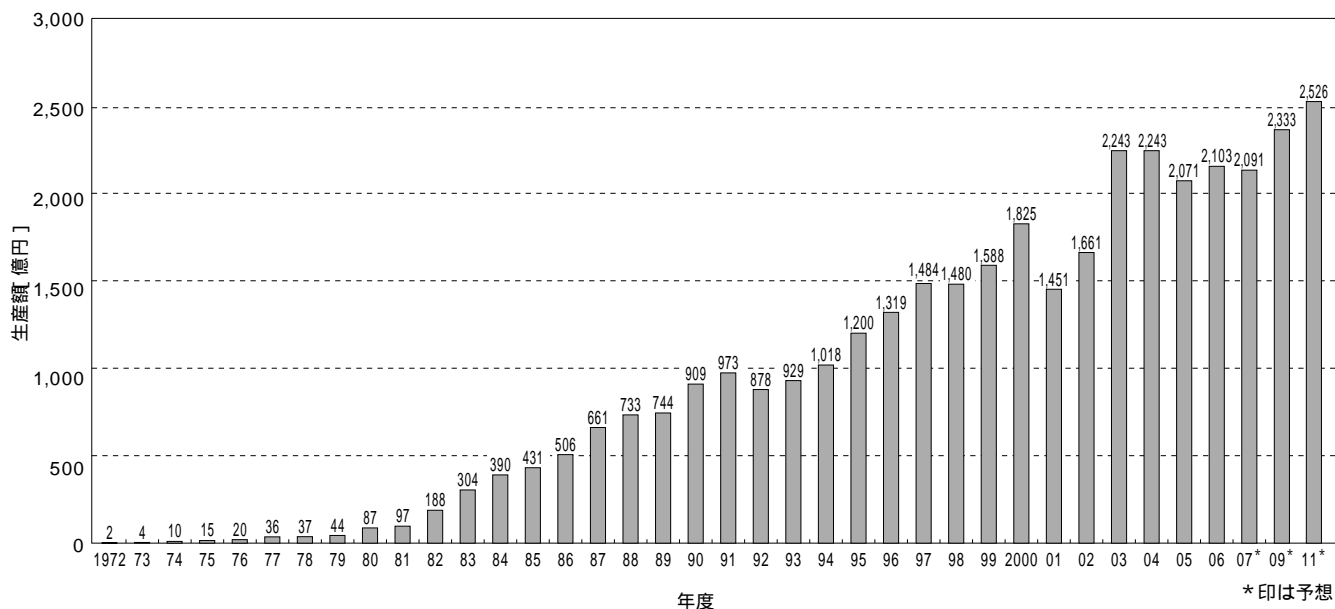



図4　フレキシブル・プリント配線板の市場推移（金額ベース）

卓に4層の多層プリント配線板が採用されたのを皮切りに他の民生機器に応用が広がっていきました（**写真1**）．

多層プリント配線板の層数別構成は**図5**のようになります．三角形の頂点付近は超多層プリント配線板が位置し，量的には少ないもののハイエンド機器に応用されています．下に行くほど多くの分野で使用され，数量も多くなっています．

多層プリント配線板は，スルー・ホールが全層にわたって開いている場合には貫通多層プリント配線板（**図6**）と呼ばれます．二つ，または，それ以上の複数の導体層の層間を接続するための，めっきした穴を表層に設けたものをIVH（interstitial via hole）多層プリント配線板（**図7**），内層に設けたものをBVH（buried via hole）多層プリント配線板と呼んでいます．

次に多層プリント配線板の開発トレンドを分野別に探っていきましょう．

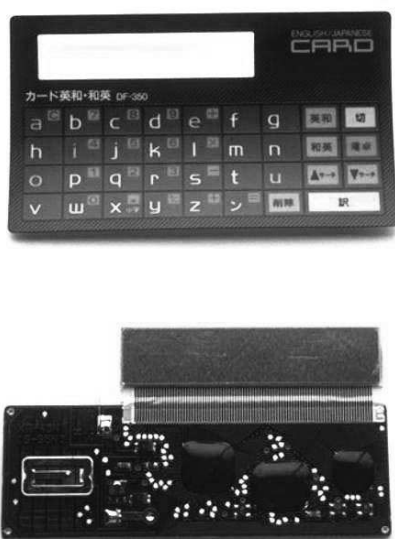



写真1　多機能電卓

セイコーインスツルの英和・和英多機能電卓「DF-350」．民生機器に初めて4層の多層プリント配線板が採用された機種．4層プリント配線板に3個のベア・チップを搭載するCOB（chip on board）基板となっている．

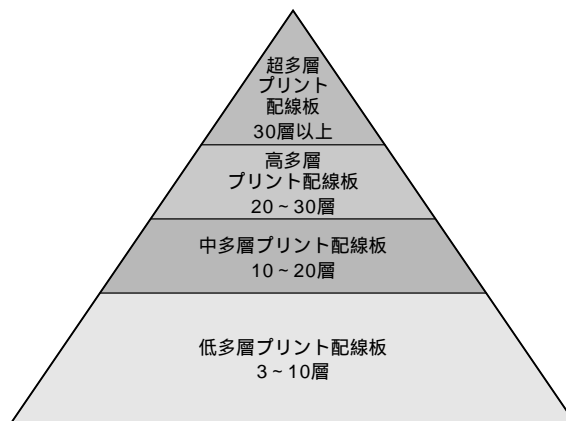



図5　多層プリント配線板の層数別構成

下に行くほどすそ野が広く，多くの分野で使用され，数量も多い．

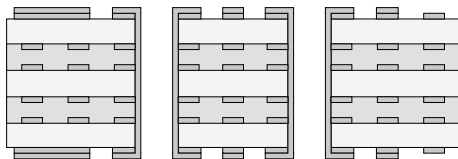
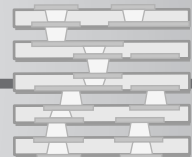



図6　貫通多層プリント配線板

スルー・ホールが全層にわたって開いている．

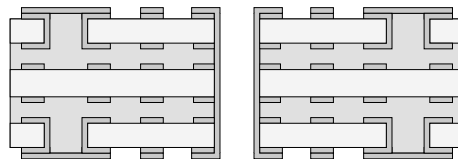



図7　IVH 多層プリント配線板

二つ，または，それ以上の複数の導体層の層間を接続するための，めっきした穴を表層に設けてある．

● 高多層/超多層プリント配線板

多層プリント配線板の技術は，主にメインフレームの世界で開発されたと言えます．メインフレームの世界では，高多層から超多層のプリント配線板へと進展し，有機系では50層（米国Unisys社の2200/900が採用），無機系では63層（米国IBM社のES9000が採用）がそれぞれ実用化されました．

ガラス・エポキシ多層プリント配線板だけでなく，ガラス・ポリイミド多層プリント配線板やガラス・マレイミド・スチレン多層プリント配線板も採用され，メインフレームに適用されました[注1，注2]．

層数が増えれば，プリント配線板の板厚は厚くなる傾向にあり，**図8**に示すように8mmの板厚までの多層プリント配線板の搭載例があります．具体的な多層プリント配線板の層数の推移を見ると，**図9**に示すように6～8層の割合が増加しています．

高多層から超多層プリント配線板の応用例として，スーパーコンピュータ，ハイエンド・サーバ，基地局，半導体テスト装置などがあります．

● 薄物多層プリント配線板

近年，民生用途では0.8 mm以下の薄物多層プリント配線板が多くの機種に搭載されるようになりました．プリント配線板の標準板厚は1.6mmが常識であった頃とは大きく異なります．近年の電子機器は，いかに「小さく」，「軽く」，「薄く」できるかを競い合っています．このような取り組みの際にプリント配線板に求められたのは，軽くて薄い高密度のプリント配線板であり，そのため薄物多層プリント配線板が実用化されました．

多層プリント配線板は，民生機器に採用されたことにより，日本で大きく進展することになりました．コスト最優先の民生機器に多層プリント配線板が採用されたのは，電子辞書付きの多機能電卓や文字放送用の基板などでした．

注1：富士通のメインフレーム「FACOM M-780」に42層ガラス・ポリイミド多層プリント配線板（サイズ540mm × 488mm × 7.3mm，貫通穴0.35mm/IVH 0.12mm，穴/ランド径0.16mm，導体幅60μm，最小間隙115μm，アスペクト比20.9）が採用された．開発時期は1985年．大河内生産賞受賞．

注2：日立製作所のメインフレームのプリント配線板は，ガラス・マレイミド・スチル樹脂を使用した46層の超多層プリント配線板（サイズ730mm × 534mm × 7.1mm，スルー・ホール径φ 0.3mm,φ 0.56mm，配線密度：2本/1.35mm）を採用しており，低誘電率を達成するためにガラス・クロスは誘電率の低いSガラス（誘電率5.6）を使って，誘電率 3.7（1MHz時），誘電正接0.006（1MHz時）の銅張積層板（ガラス転移温度 300 ℃以上，難燃性 V-0）を独自開発した．

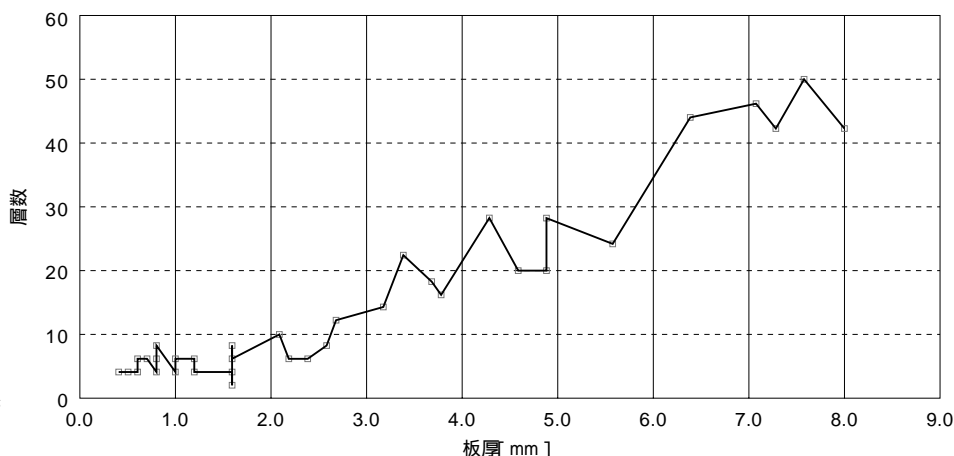



図8
多層プリント配線板の層数と板厚の関係

8mmの板厚までの多層プリント配線板の搭載例がある．

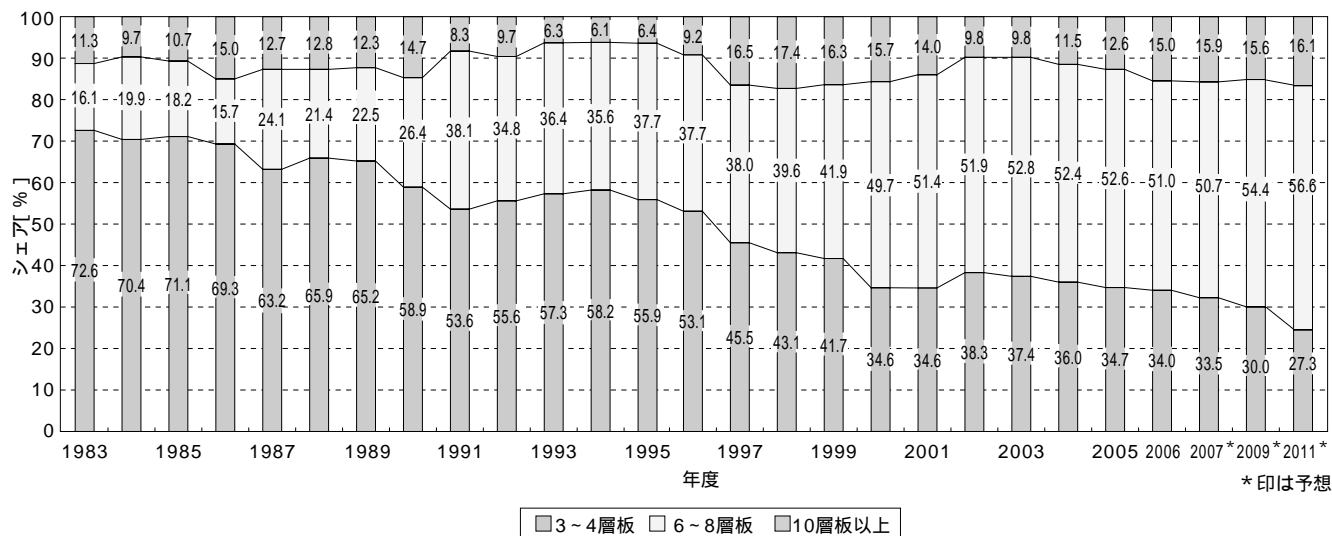



図9　多層プリント配線板の層数の推移（金額ベース）
6～8層の割合が増加している．

1989年に商品化されたカメラ一体型ビデオに，厚さ0.6mmの4層プリント配線板が採用され，この実用例を境に他の電子手帳，ヘッドホン・ステレオ，MDプレーヤ，携帯電話，ノート・パソコンなどにも厚さ0.4mm～0.8mm，層数4～8で応用展開されました注3．

● 内層回路入り多層銅張積層板

1980年代後半から1990年代は，多層プリント配線板が民生機器にも採用され，大量に多層プリント配線板を供給する必要性から，内層の回路だけをあらかじめ銅張積層板に組み込んでおくマスラミネーション方式の多層板が製造されるようになりました．

初期のころはプリント配線板メーカからの成形だけを製造受託するリラミネート・サービスとして米国で発達し，その後，積層板メーカでも内層回路を形成するラインを導入して自前で生産できるマスラミネーション・サービスとして発展していきました．なお，内層回路入り多層銅張積層板は簡易多層板とも呼ばれます．

注3：ソニーが製品化したパスポート・サイズのビデオカメラ「CCD-TR-55」は，重量が790gで，160,000円で発売された．プリント配線板は0.6mmの4層板が採用され，プリント配線板はスルー・ホール径0.35mm，ランド径0.5mm，導体幅（*L*）/導体間隔（*S*）：150μ/150μm）に0.5mmリード・ピッチのQFP（quad flat package）や1608サイズのチップ部品を両面に搭載．民生機器に薄物多層プリント配線板が使用され，高密度実装とともに話題となった．両面に約2,200個の部品が搭載され，まさに高密度実装技術を実践したものである．発表は1989年5月．浅野温子の予告コマーシャルで発売前から予約が殺到した．発売は1989年6月21日で5万台が2日で売り切れたほどのヒット商品となる．1989年日刊工業十大新製品賞受賞．

銅張積層板メーカが保有する大型多段プレスで内層回路入り銅張積層板を製造する方法として，大きいものでは外形が1m×1.2m，段数が30段の2000トン級のプレスで製造する例も出現しました．

この1980年代後半から1990年代は，パソコンやカメラ一体型ビデオのブームで，プリント配線板メーカの生産能力不足を補う形で，マスラミネーション方式が一世を風靡（ふうび）しました．この内層回路入り銅張積層板を使用すれば，多層プリント配線板の製造ラインを保有していなくても両面板ラインを使って多層プリント配線板を生産することができたので，多くのプリント配線板メーカが採用しました．

このように大量に生産されるようになった多層プリント配線板は，ハイエンド機器用途を除くと4層板から生産され，その後，6層板，8層板へと徐々に層数をあげていくようになりました．生産性を向上するためにピン・レス方式（接着剤方式，ハトメ方式）で成形する方法や，真空下で成形する製造技術が確立され，多層プリント配線板を歩留り良く大量に生産できるようになりました．

● ビルドアップ多層プリント配線板

軽薄短小化製品の代表例として，ディジタル・ビデオ・カメラ，携帯電話，ノート・パソコンなどが挙げられ，これらにビルドアップ多層プリント配線板が搭載されました（**図10**）．

ビルドアップ多層プリント配線板はメインフレームにお

図10　ビルドアップ多層プリント配線板の断面（2-4-2）
2段ビルドアップ多層プリント配線板の例．

いては銅-ポリイミドを使っていました．形を変えて日本IBMがフォトビア方式のビルドアップ多層プリント配線板（SLC方式）としてビジネス・パソコンに搭載し，業界で一躍，脚光を浴びるようになりました（1991年1月14日の日経産業新聞の一面に報道された）．

●工法

ビルドアップ多層プリント配線板にはその後，さまざまな工法（SLC，B^2it，ALIVH，DV Multi，FVSS，M-VIA，CLLAVIS，PPBU，VIL，MELBUS-L，LaB，ELBit，ALIVILなど）が出現し，カメラ一体型ビデオを手始めに，携帯電話，ノート・パソコン[注4]，ディジタル・ビデオ・カメラ[注5]，ディジタル・スチル・カメラなどにおいて，特に日本で進展した背景があります．

このさまざまな工法ですが，

1，ビルドアップ層の絶縁層をどのような方式で配置するか
2，接続方法をスルー・ホールにするかバンプにするか
3，穴開けをレーザーにするかメカニカルにするか

などによって，多岐にわたります[注6]．

●シェア

欧州では携帯電話において，ビルドアップ多層プリント配線板が展開されましたが，米国では用途が限定されたために普及が遅れました．

多層プリント配線板のさらなる高密度対応として登場したビルドアップ多層プリント配線板は，**図11**に示すように全多層プリント配線板の約33％を占めるまでに増えています．この比率はJPCA（日本電子回路工業会）によれば，特に日本が高いと想定され，2011年には43%となると予測されています．

サイズを特に重視した設計思想（DfS：design for size）が1990年代以降，日本で進展したために，ビルドアップ多層プリント配線板が民生用機器に応用展開されたのが大きな特徴でもあります．これは，欧米にはなかったものであり，日本はメインフレーム以降，ディジタル・ビデオ・カメラが実装技術を引っ張る役割を担ったと言えます．**図12**に示すようにビルドアップ多層プリント配線板は，6～8層の金額が全体の80%を占めています．

●層構成

ビルドアップ多層プリント配線板は，ビルドアップ層-コア層-ビルドアップ層（n-m-n）の構成で表現されます．例えば，携帯電話向けのビルドアップ多層プリント配線板において，2-4-2のように示すと，これはビルドアップ層が上下

注4：東芝の「Libretto30」はWindows 95搭載で当時世界最小（210mm×115mm×34mm），最軽量（重量850g）．プリント配線板は6層板でバンプ接続方式の東芝が開発したB^2it方式のビルドアップ多層プリント配線板を採用（239mm×102mm×1.0mm，$L/S = 100\mu/150\mu$m，バンプ径0.3mm）．発売は1996年11月．

注5：キヤノンの「MovieBoy E1」は重量700gのカメラ一体型ビデオで，プリント配線板は板厚1.0mmの8層ビルドアップ多層プリント配線板（2-4-2/SLC方式，ビア径125μm）を採用．1005サイズのチップ部品を搭載．発売は1992年．

注6：バンプ接続法によるビルドアップ方式にはもう一つ，松下電器産業が開発したALIVHがある．基材に無機系のガラス繊維を使用しないで，有機系のアラミド繊維を使って軽量化を狙ったのが特徴．このALIVHの方式に日本ビクターが開発したVIL方式のビルドアップを融合したALIVILもある．ビルドアップ方式の多層プリント配線板はさまざまな方式が開発され，融合化したタイプも存在し，実にバラエティに富む．

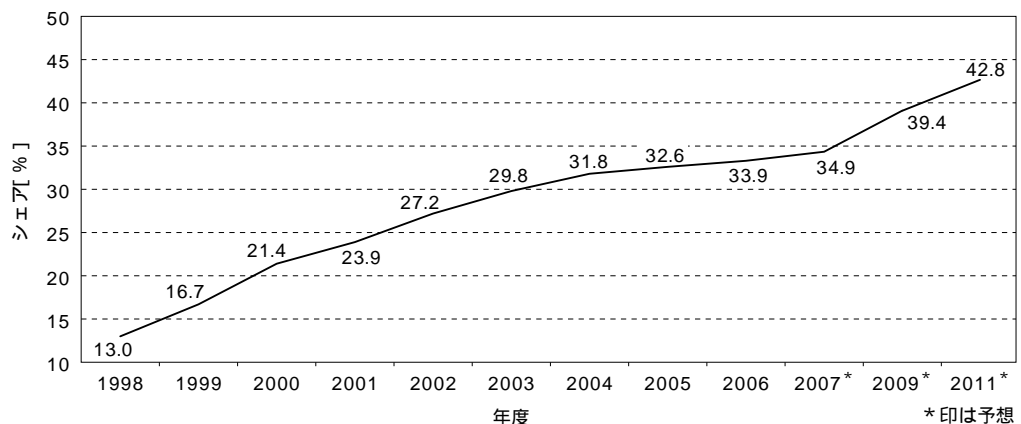



図11
ビルドアップ多層板化率（金額ベース）
全多層プリント配線板の約33％を占めるまでに増えている．

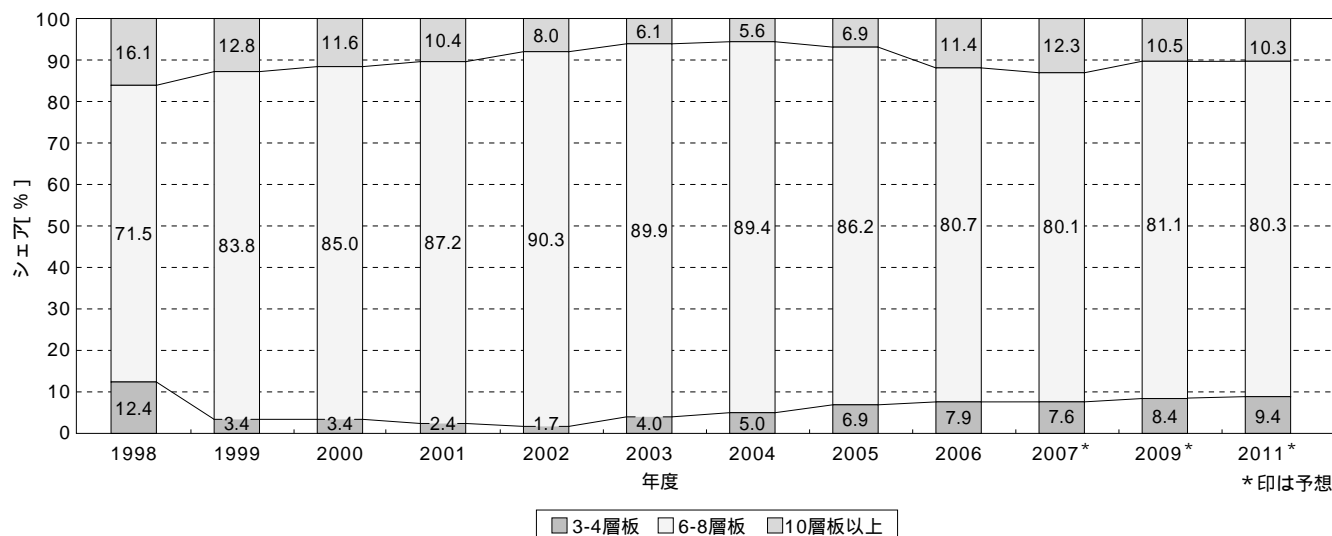



図12　ビルドアップ多層プリント配線板の層数の推移(金額ベース)
6～8層の金額が全体の80%を占めている．

に2層ずつあり，コア層は4層，全層数は8層であることを示します．

ビルドアップ層を積み上げていくため，ビルドアップ層が片側で1層の場合は1段ビルドアップ多層プリント配線板，2層の場合は2段ビルドアップ多層プリント配線板とも呼称されます．ビルドアップ層が多いほどビア方式で最短配線となり，高密度化できます．現在4段ビルドアップ多層プリント配線板まで実現しています．しかし，ビルドアップ層が増加するにつれて技術課題は多くなってきます．

2～3段ビルドアップ多層プリント配線板を採用している機種は，携帯電話，ディジタル・ビデオ・カメラ，ディジタル・スチル・カメラ，ノート・パソコンなどのポータブル機器に多いと言えます．

● 一括積層多層プリント配線板

一括積層多層プリント配線板は，1層ごとに内層となる回路とビアを，めっきや導電ペーストなどで形成し，成形を一括で実施して多層化するプリント配線板です．ビルドアップ多層プリント配線板の変形版として開発されました．

● フレックス・リジット・プリント配線板/多層フレキシブル・プリント配線板

軽薄短小化製品の進展によって最近，フレキシブル・プリント配線板が脚光を浴びています．薄くて軽くて，かつ，折り曲げることも可能なフレキシブル・プリント配線板は，スペースの限られた電子機器には必須となってきたために，成長している分野と言えます．

もともと，フレックス・リジットは航空宇宙搭載機器用に開発されたもので，日本ではノート・パソコンに適用され，その後，カメラ一体型ビデオに採用され，一気に量産化技術が確立されました．それ以降は，多層フレキシブル・プリント配線板とともに携帯電話やディジタル・ビデオ・カメラ[注7]，ディジタル・スチル・カメラ[注8]などに使われています．

● 環境調和型多層プリント配線板

欧州連合(EU)のRoHS指令対応として鉛フリー多層プリント配線板が，企業の環境方針によってハロゲン・フリー多層プリント配線板が，それぞれ応用展開されています．

EUのRoHS指令は有害な六つの物質(鉛，水銀，カドミウム，6価クロム，ポリ臭化ビフェニル，ポリ臭化ジフェニルエーテル)の使用を制限する指令で，2006年7月1日より施行されています．

この分野における対応は日本が最も進んでおり，鉛フ

注7：軽薄短小化にこだわる飽くなき追求としてディジタル・ビデオ・カメラ「DCR-IP7」(ソニー)を紹介する．世界最軽量(310g)，最小(47mm×80mm×103mm)．10層のビルドアップ多層フレキシブル・プリント配線板(2-6-2)を採用し，狭いスペースに実装するとともに軽量化を達成している．導体幅(L)/導体間隔(S)：75μ/75μm，ビア/ランド：100μ/250μm.

注8：例として富士フィルム「FinePix 4700Z」を挙げる．小型軽量化のために折り曲げて実装ができるフレックス・リジット・プリント配線板が応用された．

コラム　ダウンサイジングの予感

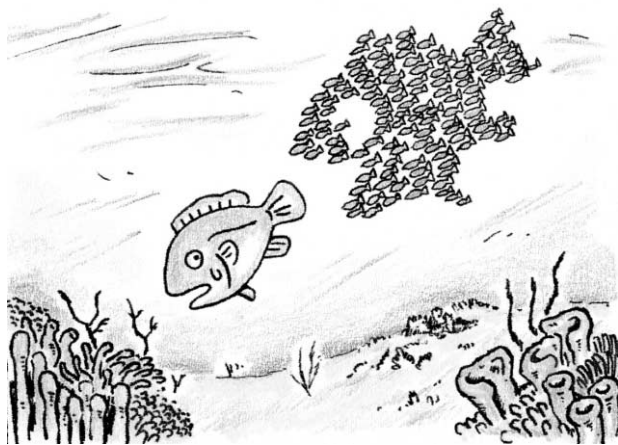
IEEE Computer Packaging Japan Workshopは2年に1度，日本で開催されるコンピュータの実装技術に関する国際学会です．初期のころは神奈川県大磯町で開催されており，その後，茨城県つくば市で開催されるようになりました．このWorkshopでは，メインフレームやスーパコンピュータの実装技術が紹介され，技術トレンドを把握するにはもってこいの学会でした．

参加には厳しいルールがあります．1社5名までしか参加が認められず，マスコミ関係者の参加は許可されません．また発表者の題目が提示されるだけで予稿集はなく，カメラやテープ・レコーダの持ち込みは厳禁となっています．ここで紹介された内容は，社内では話してもよいが社外では話してはならないとのおきてがあります．それだけ，極秘事項に近い内容が紹介される学会なのです．

参加者は海外を含めて約120名で，公用語は英語で3日間，実施されます．米国IBM社の関係者が約30名（さまざまな部門，関係会社から）の参加で，国内外のコンピュータ実装技術に関して意見交換が実施され，いろいろな角度から性能に関する質問が飛び交う国際会議です．

このワークショップもダウンサイジングの影響を受け，徐々にほかの電子機器の実装にも目を向けられるようになり，カメラ一体型ビデオの小型軽量化の技術などが紹介されるようになりました．

この国際会議には常連の参加者が多く，面識ができると会期中にさまざまな情報交換ができるのも大きなメリットです．しかも，先端技術だけでなく業界や市場動向についても情報交換ができるのです．

筆者がコンピュータ実装技術の最前線にいた頃に，IBM社の関係者から受けたダウンサイジングを予感させる指摘を強く覚えています．それは，「パソコンなどを束ねるとメインフレームを今にも食いそうなイメージ」（**図A**）を模式化した資料で，業界をうまく表現している図でした．この国際会議からしばらくすると，コンピュータ業界ではダウンサイジングが本当に進展し，大きく様変わりしました．

図A　小型コンピュータがメインフレームを食うイメージ図
筆者がIBM社のエンジニアから入手した図を編集部で作図し直したもの．

リー対応では，耐熱性を向上させた多層プリント配線板を使用する傾向が強いです．ハロゲン・フリー対応としては，リン系/窒素系あるいは充てん剤併用の難燃化方式を採用して，難燃性V-0（UL）を達成した多層プリント配線板が使われています．

新しい難燃化方式を採用したために，従来の古典的なグレード（例えばFR-4）の範ちゅうに入らないようなグレードが出現し，新たに安全性テストを基本から実施する必要性がでてきています．企業によっては環境対応したプリント配線板を区別するために，プリント配線板上にハロゲン・フリーや鉛フリーを示すマークを表示している例もあります．

＊　　＊

多層プリント配線板は，昔は極めて限られたハイエンド機器での応用であったものが，軽薄短小化により民生機器にも使用されるようになり，応用のすそ野が広がりました．技術者の方にその背景を理解していただき，多層プリント配線板の正しい使い方の参考にしていただければ幸いです．

参考・引用*文献

(1) 青木正光；ビルドアップ基板の生産額が多層板全体の27.2％に，Design Wave Magazine，2003年8月号，pp.110-118.
(2) 青木正光；進化するプリント配線板技術，エレクトロニクス実装技術図鑑 Part2，pp.4-13，2004年.
(3) 青木正光；話題商品が必要とするプリント配線板，エレクトロニクス実装技術2007年3月号，pp.24-33，技術調査会.
(4) プリント配線板 今昔，電子技術，1987年9月号別冊，実装技術シリーズ6，p.9，日刊工業新聞社.
(5) プリント回路技術用語辞典編集委員会編；プリント回路技術用語辞典，日刊工業新聞社.

あおき・まさみつ
ノキア・ジャパン（株）　グローバルソーシング本部 部長

<筆者プロフィール>
青木正光．東芝の化学材料事業部（独立して，東芝ケミカル）に入社してプリント配線板用材料や実装用材料の開発に携わる．IPC技術委員会で活動するとともに1998～2001年の3年間，欧州（ドイツ）に駐在して環境調和型製品のマーケティングを実施．IPC会長賞（1992年），Atomic Giant賞（2001年）を受賞．NPO ULの日本法人で製品安全・環境関係に従事し，現在，ノキア・ジャパンでモノづくりに再挑戦している．